干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

湿地土壤气体排放对水位变化响应的持续性动态特征

吕海波[1,2]

（1. 渭南师范学院环境与生命科学学院，陕西 渭南 714000；
2. 陕西省河流湿地生态与环境重点实验室，陕西 渭南 714000）

摘 要：为探索湿地水位变化与土壤气体排放之间的关系，对黄河中游芦苇湿地进行了半注水和满注水样地处理后的动态监测，对比了7 d水位变化过程中土壤气体排放差异。结果表明：注水造成了土壤CO_2排放速率的显著差异；随土壤温度上升，H_2O、CO_2、H_2S排放速率都有上升趋势（满注水样地的H_2O除外）；半注水和满注水造成的影响，H_2O排放速率表现为趋同-异步-消失的特征，在注水前期（63.73 h）半注水和满注水差异基本一致，后期差异较大，直至125.64 h后注水的影响才消失，总体分别造成H_2O排放总量76.3%和31.3%的增加；CO_2排放速率表现为异步-趋同的特征，注水初期环境的改变造成CO_2排放的一致减少，37.69~68.66 h二者出现明显差异，68.66~125.64 h水位虽然恢复，但差异仍然存在，注水分别造成CO_2排放总量50.1%和43.2%的减少；H_2S排放速率表现为无变化-异步-无变化的特征，总体造成H_2S排放总量42.3%和32.3%的增加。研究追踪了水位上升后土壤H_2O、CO_2和H_2S排放速率变化的动态过程，其影响具有异步性和持续性的特点，CO_2排放速率表现出较长的响应周期。研究结果对于河流湿地生态功能研究具有重要意义，湿地土壤气体排放对水位变化的响应滞后意味着对湿地生态功能的重要影响，其波动过程需要更长时段的精准研究。

关 键 词：土壤CO_2排放；湿地水位变化；生态功能；注水试验
文章编号：

全球气候变化与湿地生态功能存在复杂的相互作用关系。由于湿地生态对全球气候变化具有重要的调控作用，尤其是其对环境变化的响应问题，现已成为相关领域的研究热点之一[1-2]。湿地气体排放是发挥生态效应的重要输出项之一，受湿地局部气候（如土壤温度、水环境）的直接影响，气体排放变化最终影响了湿地的生态功能[3-4]。目前土壤温度对湿地气体排放的研究较多，且基本达成随土壤温度上升排放速率增加的研究结果[5-7]，而水分对其的影响较为复杂，目前未呈现线性相关的研究结论[8-10]。在自然条件下，河流水位存在静态水平和动态变化2种过程，水位变化后湿地气体存在应激、适应和稳定过程。气体排放的影响程度和持续时间等变化过程关系着河流水位变化对湿地生态功能影响水平的评价工作，这一研究方向因涉及到复杂的环境变化和较长的监测周期而较为缺乏。

对河流湿地来说，水位变化是气温大环境影响下的区域变化，是影响湿地气体排放的不确定因素。水位变化涉及到上游流域的降水量和气温影响下的冰雪融水2个自然因素，因此全球气候变化是水位变化的自然主因，其区域性的差异会造成局部性河流水位变化的大幅度变化。黄河中游自龙门至潼关段河道变宽，创造了湿地发育的良好条件，我国西北地区降水及气温的变化造成的流量变化直接影响本地区湿地水环境。目前黄河流域年际水量变化显著，加上黄河流域水量年内变化明显，使得本区水位变化明显[11-13]。本文立足于黄河龙门至潼关黄河淤积段的典型芦苇（*Phragmites australis*）湿地，研究气体排放对水位变化的响应，根据水位变化造成的气体排放动态特征来研究其内在

收稿日期：2021-07-13； **修订日期**：2021-12-15
基金项目：陕西省教育厅创新团队项目（21JP041）资助
作者简介：吕海波（1980-），男，博士，副教授，主要从事生态学及气候变化研究. E-mail: lhboboo@163.com

机理，为湿地生态功能评价提供基础数据和理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黄河中游经内蒙古托克托县以下进入峡谷段，河流下切，水流湍急，但在龙门至潼关段，河面展宽，水流和缓，两岸滩涂有大面积滨河湿地（图1）。本段纵切汾渭平原，汾河、渭河两大支流汇入黄河，潼关段15 a年均流量为574.16 $m^3 \cdot s^{-1}$[12]。研究区地带性土壤为褐土和黄绵土，全年平均气温12.7~15.6 ℃，全年降水量390.7~592.2 mm，属暖温带半湿润半干旱季风气候，落叶阔叶林发育。由于本河段受全球气候变化影响，上游来水变化幅度大，水位升降频繁，因而水位升降对湿地生态功能的影响成为新的研究命题。

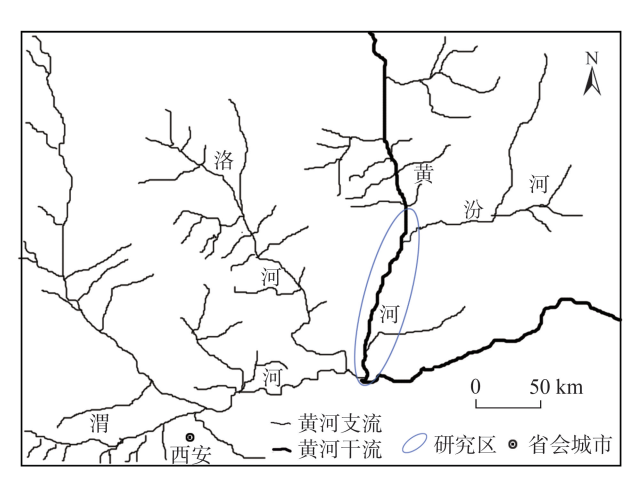


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Sketch map of the study area

1.2 研究方法

为研究水位变化后气体排放的动态变化，对野外样地与人为注水试验进行监测对比。选择韩城市黄河边滩（35°25.82′N，110°28.03′E）典型芦苇湿地进行人工设置。芦苇群落距河边约21 m，宽1~8 m，长100~150 m。样地平整，距河水面垂直距离50~60 cm。芦苇整体株高150~170 cm，茎秆直径1~3 mm占70%、4~6 mm占30%，密度约为650株·m^{-2}。河水位在监测期间变幅约18 cm。

2017年7月16日布设培养坑，具体尺寸见图2，坑内铺设内壁开孔的塑料阻渗膜。培养坑沿河面一字排开，间距大于6 m。共设置6个培养坑，其中3个注水至地表（满注水），3个注水至−30 cm（半注水），另设置不处理的3个自然样地。经观测，满注水和半注水2类培养坑水位在监测35.31±3 h、46.71±3 h后回到原始位置。注水前进行第1次监测分析，初期每隔3~4 h采集一次数据，后期时段适当放长，监测持续160.85 h（约7 d），共采集19组数据，每组数据包括3个类型，每个类型重复3次。

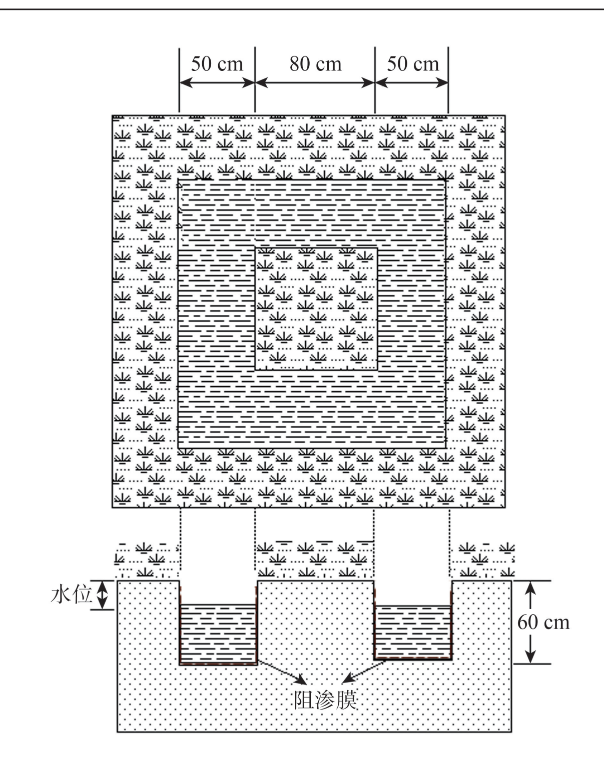


图2 人工设置结构

Fig. 2 Artificial set structure

1.3 气体排放数据采集

H_2O、CO_2、H_2S气体排放速率采用WEST Systems便携式土壤CO_2/H_2O通量系统，系统叶室直径200 mm，高200 mm。选择丛间空地进行采样，干旱样地采样时应压实以保证边缘与地面紧密接触。以5 cm土壤深度代表土壤温度。

1.4 数据处理和统计方法

对19次采集数据进行分类汇总。采用双因素方差分析方法分析自然样地、半注水和满注水样地的差异显著度，利用Excel做3类型H_2O、CO_2和H_2S排放速率对比图。

2 结果与分析

从差异度分析结果发现，注水后造成CO_2排放速率显著变化，但对H_2O和H_2S排放速率的影响没有达到显著差异（表1）。尽管如此，从显著性程度

表1　注水造成的差异度分析

Tab. 1　Analysis of difference caused by water injection

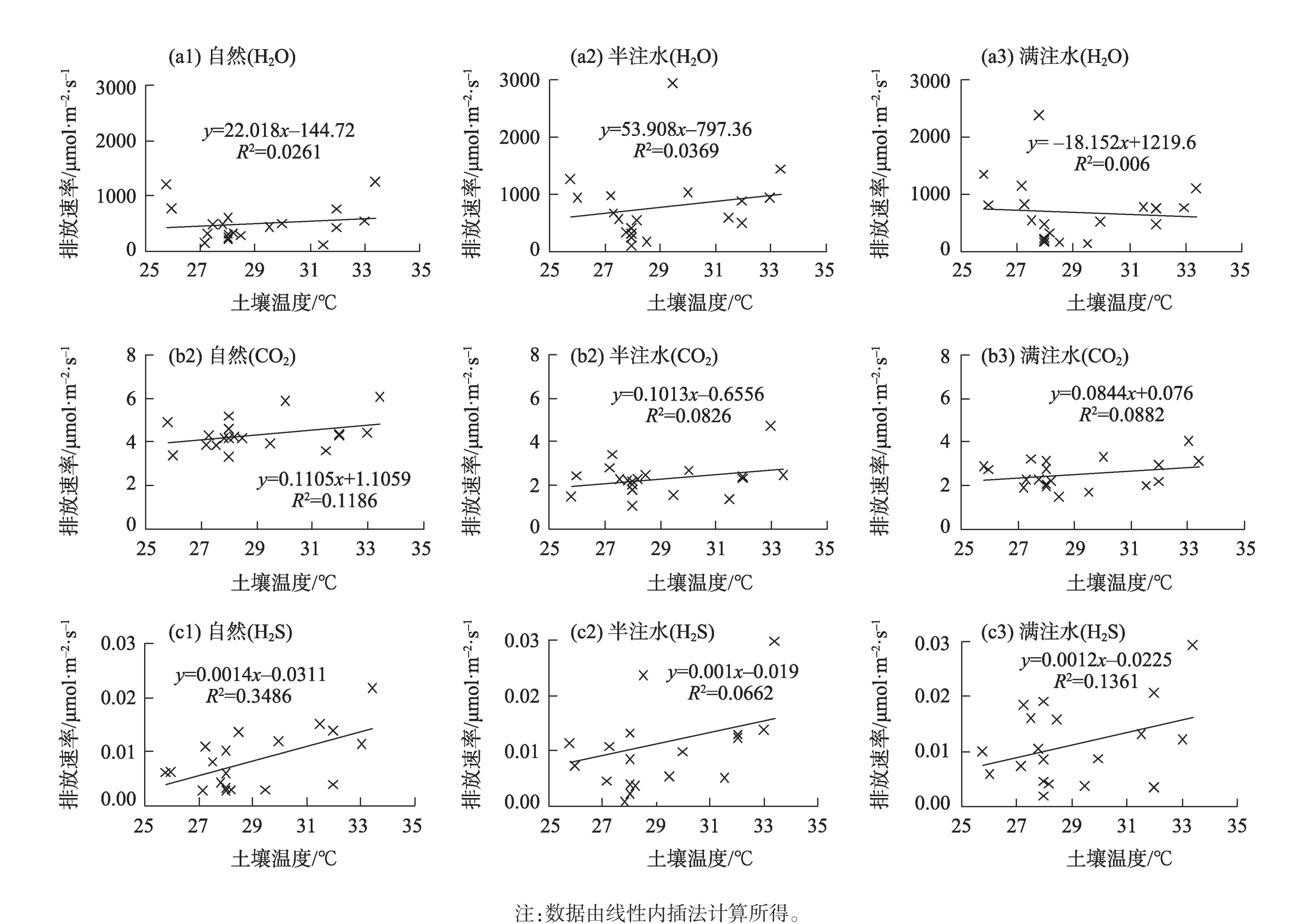
气体类型		自然	半注水	满注水
H_2O	自然	1.00	0.06	0.17
	半注水	0.06	1.00	0.35
	满注水	0.17	0.35	1.00
H_2S	自然	1.00	0.23	0.17
	半注水	0.23	1.00	0.97
	满注水	0.17	0.97	1.00
CO_2	自然	1.00	0.00^*	0.00^*
	半注水	0.00^*	1.00	0.31
	满注水	0.00^*	0.31	1.00

注：样本数n=9；*表示P<0.05。

看，半注水和满注水样地对H_2O和H_2S排放速率的影响存在差异，半注水对H_2O排放速率的影响大于满注水，而对H_2S排放速率的影响却小于满注水。3种气体半注水和满注水差异度相对较小。

监测过程中19个序列数据与土壤温度作回归图（图3）。除了满注水下的H_2O排放速率之外，各类型随着土壤温度上升都有不同程度的上升趋势，3种气体排放速率的增加幅度都表现为$H_2O>CO_2>H_2S$。与自然样地相比，半注水和满注水都造成了CO_2和H_2S的增速出现不同程度的降低。注水后，土壤温度与气体排放速率的规律受到干扰，3种气体线性回归方程的斜率及拟合度有明显不同。监测过程中注水造成各类气体排放总量的明显变化，半注水和满注水分别造成H_2O排放总量76.3%和31.3%的增加、CO_2排放总量50.1%和43.2%的减少、H_2S排放总量42.3%和32.3%的增加。满注水对3种气体的影响弱于半注水（图4）。

监测过程中，半注水和满注水造成的影响（与自然样地的差值）呈以日为周期的波动，一次注水对H_2O排放速率的影响大约持续125.64 h，前期63.73 h两者影响有一定的趋同性，夜晚影响大于白天，在63.73~125.64 h之间半注水和满注水影响差异较大，后期两者差异都不明显，半注水和满注水造成的影响呈现趋同–异步–消失的趋势（图5）。



注：数据由线性内插法计算所得。

图3　土壤温度变化与气体排放的关系

Fig. 3　Relationship between soil temperature change and gas emission rate

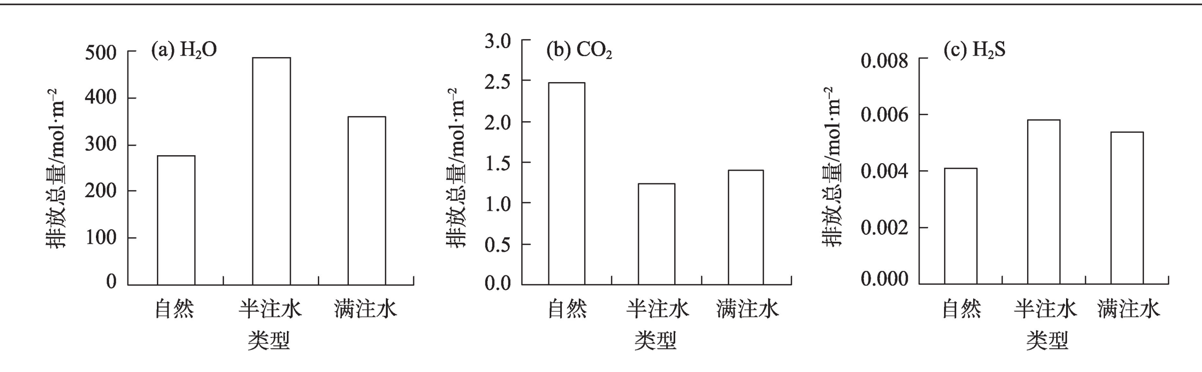
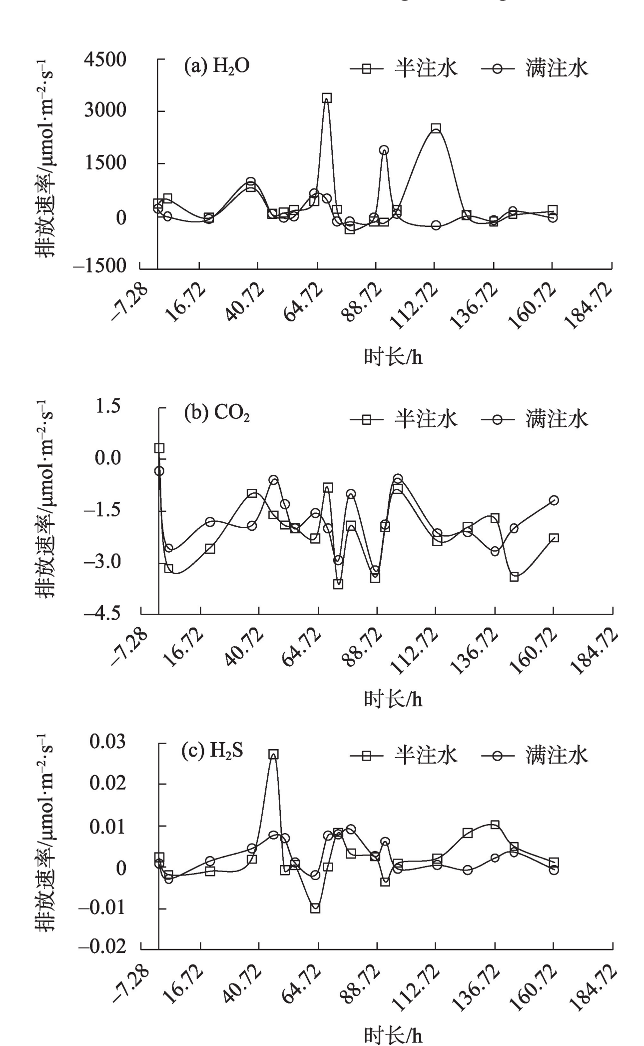


图4　H_2O、CO_2、H_2S排放总量对比

Fig. 4　Comparison of total emissions of H_2O, CO_2 and H_2S



注：纵坐标为注水样地与自然样地的3种气体排放速率差值。

图5　注水对3种气体排放速率的影响过程

Fig. 5　Influence process of water injection on emission rate of the three kinds of gas

注水后CO_2排放速率总体表现出波动性降低的特征。半注水和满注水在监测中后期(68.66~125.64 h)与自然样地的差异基本一致，注水后37.69~68.66 h差异较大，整体表现出异步–趋同的特征。

H_2S排放速率在注水后波动频繁，总体上有变快的趋势。注水初期H_2S排放速率未表现出显著变化，但在46.71 h时出现显著升高，后期半注水和满注水呈相对一致的波动变化。H_2S排放速率总体呈现无变化–异步–无变化的特征。

3　讨论

3.1　注水后土壤H_2O排放速率变化特征

注水造成土壤环境的变化，从而引发土壤气体排放的变化。经观察注水后土壤水位升高仅能保持1~2 d，而土壤因物理注水发生了生物化学适应到延续影响的过程。由于黄河沙地的高渗透性以及注水造成的土壤温度变化迟缓，注水并未能造成H_2O排放速率的显著升高，在注水前期(63.73 h)半注水和满注水差异基本一致，后期尽管水位已经恢复自然水平，由于土壤持水性导致的土壤含水量差异，二者差异明显不同，直至125.64 h后注水的影响才消失。因此，注水后土壤H_2O排放速率呈现趋同–异步–消失的趋势。注水虽然提高了土壤含水量，但降低了对土壤温度的敏感度，再加上注水样地水位在监测过程中的下降，最终导致注水样地H_2O排放速率与土壤温度拟合程度不好。

3.2　注水后土壤CO_2排放速率变化特征

土壤CO_2排放来源于微生物对有机物的降解、有机质及矿质的氧化还原过程、动物及植物根系的呼吸作用等方面[14−15]，较高的土壤温度能够促进湿地土壤内生物、物理化学过程，因而能够提高土壤CO_2的排放速率，因此土壤温度上升后3类样地CO_2排放速率都有所上升。本研究中注水样地与自然样地的CO_2排放速率达到显著差异，说明注水对土

壤CO_2排放造成了显著影响。本研究发现土壤H_2O含量与CO_2排放的关系具有复杂性:(1)注水虽然能导致CO_2排放速率的减少,但与注水量没有直接的相关性,监测过程中CO_2排放总量表现为自然>满注水>半注水,半注水造成的影响大于满注水。(2)满注水和半注水造成的CO_2排放速率的差异,在监测过程中表现为趋异与趋同共存,说明其影响过程的复杂性。(3)注水的影响具有长期性,虽然一次注水后2~3 d水位已恢复至自然水平,但7 d监测后未见恢复。本研究认为,注水后土壤经历了饱水-持水-恢复过程,引发土壤环境发生了一系列变化:土壤空气由厌氧状态到好氧状态、土壤生命体从拮抗到适应以及关联的土壤物理化学过程的变化。注水初期环境的改变造成CO_2排放速率的一致减少,但由于满注水和半注水样地水位恢复时间差异,造成了37.69~68.66 h的差异;68.66~125.64 h满注水和半注水样地水位都恢复到自然水平,但土壤H_2O排放速率说明了土壤湿度仍高于自然样地,这阶段土壤为饱水后的持水过程,CO_2排放源异于自然样地,排放速率呈昼夜周期性变化;125.64 h后注水样点与自然样地H_2O排放速率差异变小,但CO_2排放差异仍然存在,可能是由于注水干扰了土壤CO_2各类源的组成和数量,水溶性有机碳(DOC)、微生物、根系呼吸及矿质理化过程经历激发后没有恢复到自然水平,造成了注水影响的持续性。有研究发现,水位上升后,CO_2排放速率出现了后期反弹现象,被称为"Birch效应"[16],Moffett等[17]发现潮间带对湿地CO_2排放速率产生明显影响,这些研究支持了本文的判断。

3.3 注水后土壤H_2S排放速率变化特征

土壤含硫气体的排放主要来自微生物作用下硫酸盐的异化还原和含硫氨基酸的降解,降解过程中产生的水溶态(H_2O-S)和结合态(Adsorbed-S)硫是土壤中的H_2S的来源[18-19]。土壤含水量直接影响O_2的可利用率、气体扩散速率和微生物活性,并间接影响到土壤的pH值和氧化还原电位变化[20],从而对含硫气体的产生和扩散产生影响。因此,在含硫物质相同的背景下,土壤湿度变化直接或间接影响到H_2S排放速率[21]。在稳定的高湿环境下,土壤中的微生物对土壤中的含硫物质产生厌氧分解,有助于H_2S排放速率的增加,土壤温度越高速度越快,因此注水造成了总量的升高[22]。但是注水初期,土壤环境改变造成的微生物活性及水溶态硫不增反降,监测初期H_2S排放速率降低,随着土壤厌氧环境的稳定,H_2S排放速率升高。因半注水和满注水水位下降速率不一样,造成的影响出现差异,后期随着恢复两者的影响趋于相同。监测末期H_2S排放速率与自然样地类似。

4 结 论

本文以人工注水的方法模拟了水位上升对湿地土壤气体排放的影响过程,证明水位上升能显著影响湿地土壤气体排放,得出如下主要结论:

(1)半注水和满注水对3种气体的影响存在差异,注水造成了CO_2排放速率显著变化。

(2)除了满注水下的H_2O排放速率之外,各类型随着土壤温度上升都有不同程度的上升趋势,3种气体排放速率的增加幅度都表现为H_2O>CO_2>H_2S。

(3)注水能造成H_2O、H_2S排放速率的升高和CO_2排放速率的降低,监测过程中半注水和满注水分别造成H_2O排放总量76.3%和31.3%的增加、CO_2排放总量50.1%和43.2%的减少、H_2S排放总量42.3%和32.3%的增加。

(4)水位由升高到下降的快速变化会对气体排放造成动态的、持续的影响,H_2O排放速率呈趋同-异步-消失、CO_2排放速率呈异步-趋同、H_2S排放速率呈无变化-异步-无变化的趋势,水位短时变化对CO_2排放速率的影响在7 d内未见消失。

黄河水位的变化对湿地土壤气体排放的影响是动态的,其影响与静态水位水平有很大差异,这为湿地空气排放的评价提供较大困难,为达成这一目的,一是应进行室内培养的长时间监测,以去除土壤温度等干扰因素;二是澄清气体排放与土壤源各因素的关系,以建立各类湿地水位变化对气体排放影响的回归关系。

参考文献(References)

[1] 吴志峰, 曹峥, 宋松, 等. 粤港澳大湾区湿地遥感监测与评估: 现状, 挑战及展望[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 8440-8450. [Wu Zhifeng, Cao Zheng, Song Song, et al. Wetland remote sensing monitoring and assessment in Guangdong-Hong Kong-Macau Greater Bay Area: Current status, challenges and future perspectives[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(23): 8440-8450.]

[2] 雷金睿, 陈宗铸, 陈毅青, 等. 1990—2018年海南岛湿地景观生态安全格局演变[J]. 生态环境学报, 2020, 29(2): 293-302. [Lei Jinrui, Chen Zongzhu, Chen Yiqing, et al. Dynamic analysis of wetland landscape ecological security pattern of Hainan Island in 1990—2018[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(2): 293-302.]

[3] 韩雪, 陈宝明. 增温对土壤N_2O和CH_4排放的影响与微生物机制研究进展[J]. 应用生态学报, 2020, 31(11): 3906-3914. [Han Xue, Chen Baoming. Progress in the effects of warming on soil N_2O and CH_4 emission and the underlying microbial mechanisms[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(11): 3906-3914.]

[4] 徐丽, 李成旭, 张军辉, 等. 多年冻土退化地区湿地土壤温室气体排放及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2020, 39(5): 1464-1473. [Xu Li, Li Chengxu, Zhang Junhui, et al. Greenhouse gas emission of wetland soils and its influencing factors in permafrost degradation area[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(5): 1464-1473.]

[5] Yu H Y, Liu X D, Ma Q H, et al. Climatic warming enhances soil respiration resilience in an arid ecosystem[J]. Science of the Total Environment, 2021, 756: 144005, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144005.

[6] 窦永静. 增温对大兴安岭泥炭地大中型土壤动物群落及温室气体排放的影响[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019. [Dou Yongjing. Effects of warming on macro-and meso-soil fauna community and greenhouse gas emissions in the peatland, Great Hing'an Mountains[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2019.]

[7] 王金龙, 李艳红, 李发东. 博斯腾湖人工和天然芦苇湿地土壤CO_2, CH_4和N_2O排放通量[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 668-677. [Wang Jinlong, Li Yanhong, Li Fadong. Emission fluxes of CO_2, CH_4, and N_2O from artificial and natural reed wetlands in Bosten Lake, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(2): 668-677.]

[8] 陈小平, 刘廷玺, 王冠丽, 等. 温度和水分对科尔沁草甸湿地净生态系统碳交换量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(5): 1523-1534. [Chen Xiaoping, Liu Tingxi, Wang Guanli, et al. Effects of temperature and moisture on net ecosystem CO_2 exchange over a meadow wetland in the Horqin[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(5): 1523-1534.]

[9] 盛宣才, 吴明, 邵学新, 等. 模拟水位变化对杭州湾芦苇湿地夏季温室气体日通量的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(15): 4792-4800. [Sheng Xuancai, Wu Ming, Shao Xuexin, et al. Effects of simulated water levels on diurnal variation in the emission of three greenhouse gases in reed wetlands in summer[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(15): 4792-4800.]

[10] Burkett V, Kusler J. Climate change: Potential impacts and interactions in wetlands of the United States[J]. Jawra Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(2): 313-320.

[11] 姚旭阳, 张明军, 张宇, 等. 中国西北地区气候转型的新认识[J/OL]. 干旱区地理. [2021-12-21]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1103.X.20211018.1255.004.html. [Yao Xuyang, Zhang Mingjun, Zhang Yu, et al. New understanding of climate transition in northwest China[J/OL]. Arid Land Geography. [2021-12-21]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1103.X.20211018.1255.004.html.]

[12] 吕海波. 2002—2016年黄河龙门站与潼关站水位及流量变化特征[J]. 渭南师范学院学报, 2017, 32(24): 26-32. [Lü Haibo. Characteristics of water level and runoff variations in Longmen station and Tongguan station of the Yellow River in 2002—2016[J]. Journal of Weinan Normal University, 2017, 32(24): 26-32.]

[13] 陈磊, 王义民, 畅建霞, 等. 黄河流域季节降水变化特征分析[J]. 人民黄河, 2016(9): 8-12, 16. [Chen Lei, Wang Yimin, Chang Jianxia, et al. Characteristics and variation trends of seasonal precipitation in the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2016(9): 8-12, 16.]

[14] Vandernat J W A, Middelburg J J. Seasonal variation in methane oxidation by the rhizosphere of *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris*[J]. Aquatic Botany, 1998, 61(2): 95-110.

[15] 罗良娟, 张林海, 陆苗慧. 不同水分处理和枯落物分解对闽江河口湿地土壤CO_2释放的影响[J]. 湿地科学与管理, 2020, 16(4): 35-40. [Luo Liangjuan, Zhang Linhai, Lu Miaohui. Effects of different water treatment and decomposition of litter on release of soil CO_2 in Minjiang River estuary wetland[J]. Wetland Science & Management, 2020, 16(4): 35-40.]

[16] Birch H F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability[J]. Plant and Soil, 1958, 10(1): 9-31.

[17] Moffett K B, Wolf A, Berry J A, et al. Salt marsh-atmosphere exchange of energy, water vapor, and carbon dioxide: Effects of tidal flooding and biophysical controls[J]. Water Resouces Research, 2010, 46(10): W10525, doi: 10.1029/2009wr009041.

[18] 何涛, 孙志高, 李家兵, 等. 闽江河口互花米草与短叶茳芏湿地土壤无机硫形态分布特征及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2017, 37(12): 4747-4756. [He Tao, Sun Zhigao, Li Jiabing, et al. Distributions characteristics and influencing factors of inorganic sulfur forms in soil of *Spartina alterniflora* marsh and *Cyperus malaccensis* marsh in the Min River Estuary[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(12): 4747-4756.]

[19] Jung K, Ok Y S, Chang S X. Sulfate adsorption properties of acid-sensitive soils in the Athabasca oil sands region in Alberta, Canada[J]. Chemosphere, 2011, 84(4): 457-463.

[20] Yang Z, Kong L, Zhang J, et al. Emission of biogenic sulfur gases from Chinese rice[J]. Science of the Total Environment, 1998, 224(1-3): 1-8.

[21] 吕海波. 黄河中游湿地土壤H_2S释放速率的影响因素研究[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(6): 117-123. [Lü Haibo. Study on factors influencing soil H_2S release in wetlands in the middle Yellow River[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2020, 34(6): 117-123.]

[22] 李新华, 刘景双, 杨继松. 三江平原小叶章湿地H_2S和CO_S排放动态[J]. 环境科学, 2006, 27(11): 2145-2149. [Li Xinhua, Liu Jingshuang, Yang Jisong. Dynamics of H_2S and CO_S emission fluxes from different *Calamagrostis angustifolia* wetlands in Sanjiang Plain[J]. Environmental Science, 2006, 27(11): 2145-2149.]

Continuous dynamic characteristics of wetland soil gas emission response to water level changes

LYU Haibo[1,2]

(1. College of Environmente and Life Sciences, Weinan Normal University, Weinan 714000, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of River Wetland Ecology and Environment in Shaanxi Province, Weinan 714000, Shaanxi, China)

Abstract: Wetlands have an ecological purpose that is correlated with global climate change. On the background of climate change, the spatial and temporal variations of global precipitation amplify the effect on the water environment of river wetlands via catchment confluence, affecting the ecological function of wetlands significantly. To examine the relationship between wetland water level changes and soil gas emission, half water injection and full water injection treatments were considered in reed wetlands in the middle reaches of the Yellow River in China, and the differences in soil gas emission during the 7-day monitored were compared. Compared with natural sites, water injection created a significant difference in soil CO_2 emission rate. Except for the H_2O emission rate of full water injection, H_2O, CO_2, and H_2S emission rates all considered upward trend with soil temperature rising. In the monitoring process, for the effect of half and full water injection, H_2O emissions rate half and full water injection were basically the same, while the difference was higher in the later stage, the effect of did not disappear until 125.64 h, totally water injection resulted in an increase of 76.3% and 31.3% respectively; CO_2 emissions rate appeared asynchronous-converging characteristics, the changes of environment in the initial stage resulted in the consistent reduction of CO_2 emission, and considered a significant difference between 37.69 h and 68.66 h, although the water level recovered from 68.66 h to 125.64 h, the differences still existed, water injection resulted in a reduction of CO_2 total emissions by 50.1% and 43.2% respectively. H_2S emissions rate experienced changeless-asynchronous-changeless process, and totally, resulted in 42.3% and 32.3% increase. The study tracked the dynamic process of soil H_2O, CO_2, and H_2S emission rates after water level rise and found that the effect of a rise of water level on the soil gas emission rate was asynchronous and persistent, demonstrating a long response cycle to CO_2 emissions rate. The results consider high significance to the ecological function of river wetlands, the delayed response of wetland soil gas emission to water level change means that it has a significant effect on wetland ecological function, its fluctuation process needs a longer period of accurate study.

Key words: soil CO_2 emission; changes of wetland water level; ecological function; the water injection test